



DEUTSCHES
PATENTAMT

②① Aktenzeichen: P 37 20 298.7
②② Anmeldetag: 19. 6. 87
②③ Offenlegungstag: 29. 12. 88

DE 37 20 298 A1

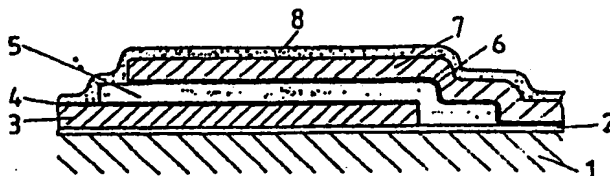
⑦① Anmelder:
Asea Brown Boveri AG, 6800 Mannheim, DE

⑦② Erfinder:
Krokoszinski, Hans-Joachim, Dipl.-Phys. Dr., 6907
Nußloch, DE

⑤④ Metallschichtanordnung für Dünnschichthybridschaltungen

Die vorgeschlagene Metallschichtanordnung dient zur Bildung von Elektroden und/oder Leiterbahnen, und besteht aus mindestens einer Aluminiumschicht (3, 7, 13, 17) und einer dünnen Kupferschicht (4, 6, 14, 16), wobei die Aluminiumschicht etwa um den Faktor 20 stärker als die Schichtdicke der Kupferschicht ist. Bei Abdeckung der Metallschichtanordnung mit einer Isolationsschicht, wie z. B. eine Dielektrikumschicht (5) eines Dünnschichtkondensators oder einer Crossover-Oxidschicht (15) einer Dünnschicht-Leiterbahnkreuzung, ist die Kupferschicht (4, 6, 14, 16) entweder zwischen der Aluminiumschicht (3, 7, 13, 17) und der Isolationsschicht (5, 15) aufzubringen oder zwischen zwei Teilschichten (3a, 3b, 7a, 7b, 13a, 13b, 17a, 17b) der jeweiligen Aluminiumschicht einzuschließen. Die Kupferschicht 7 (4, 6, 14, 16) diffundiert beim Tempern der Gesamtschaltung in die Aluminiumschicht (3, 7, 13, 17) ein, ohne dabei die Isolationsschicht (5, 15) zu zerstören. Hierdurch wird ein Hüllwachstum verhindert und die Elektromigration wird gleichzeitig vermindert.

Fig.1



DE 37 20 298 A1

Patentansprüche

1. Metallschichtanordnung zur Bildung von Elektroden und/oder Leiterbahnen in Dünnschicht-
hybridschaltungen unter Verwendung von Aluminium und Kupfer, dadurch gekennzeichnet, daß die Metallschichtanordnung aus mindestens einer Aluminiumschicht (3, 7, 13, 17) und einer Kupferschicht (4, 6, 14, 16) besteht, wobei die Schichtdicke der Aluminiumschicht etwa um den Faktor 20 stärker als die Schichtdicke der Kupferschicht ist.
2. Metallschichtanordnung nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Kupferschicht (4, 6, 14, 16) zwischen zwei Teilschichten (3a, 3b, 7a, 7b, 13a, 13b, 17a, 17b) aus Aluminium eingeschlossen ist.
3. Metallschichtanordnung nach Anspruch 1, wobei zusätzlich eine Isolationsschicht vorgesehen ist, dadurch gekennzeichnet, daß die Kupferschicht (4, 6, 14, 16) zwischen der Aluminiumschicht (3, 7, 13, 17) und der Isolationsschicht (5, 15) aufgebracht ist.
4. Metallschichtanordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Isolationsschicht aus Al_2O_3 besteht.
5. Metallschichtanordnung nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Isolationsschicht auf Aufdampfglas besteht.
6. Metallschichtanordnung nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Gesamtschaltung zum Eindiffundieren der Kupferschicht in die Aluminiumschicht bei einer Temperatur $\geq 300^\circ C$ getempert wird.

Beschreibung

Die Erfindung bezieht sich auf eine Metallschichtanordnung für Dünnschicht-
hybridschaltungen gemäß dem Oberbegriff des Anspruches 1.

Eine solche Metallschichtanordnung für Dünnschicht-
hybridschaltungen ist aus Schade, Halbleitertechnologie, Band 1, VEB-Verlag Technik, Berlin, 1981, S. 96 bis 101 bekannt.

In der IC-Technologie ist es allgemein bekannt, daß das Wachstum von Hillocks in dicken (Größe $0,1 \mu m$) Aluminiumleiterbahnen bei hohen Temperaturen aus der Relaxation von hohen Kompressionsspannungen resultiert. Weiter ist der Einbau von wenigen Prozenten Kupfer in das Aluminium als gängiges Mittel zur Reduzierung des Hillockwachstums bekannt (siehe Schade, Halbleitertechnologie...).

Alternativ für Kupfer sind z. B. Al-Si-Ti-Legierungen, Sauerstoffdotierung oder Ti/W-N-Beschichtungen. Weitere Verbesserungen können durch Beschichtungen oder Zwischenlagen aus Übergangsmetallen erzielt werden. Der Nachteil der Übergangsmetalle als Oberflächenschicht besteht darin, daß sie an Luft getempert werden müssen, weil sich sonst ihr Effekt ins Negative umkehrt, d. h. stärkeres Hillockwachstum induziert wird als ohne die Schicht. Das Dotieren mit Kupfer hat wiederum den Nachteil, daß die Aufdampfmateriale (Al + x% Cu) sehr teuer sind und sich während der Aufdampfung mit Kupfer anreichern, so daß kupferärmeres Material auf dem Substrat abgeschieden wird.

Weiter wurde festgestellt, daß die Hillockbildung in Aluminiumleiterbahnen der additiven Dünnschichttechnik auch bei Verwendung von Al + 2% Cu-Material nicht völlig unterdrückt wird. So ist die Ausbeute von Dünnschichtkondensatoren mit Al/2% Cu-Elektroden

nach Temperung bei einer Temperatur größer als $400^\circ C$ deutlich unter 100%, und zwar um so mehr, je größer die Elektrodenfläche ist. Solche Ausbeuteverluste wurden sogar für Kondensatoren beobachtet, deren Elektroden (Al oder Al/2% Cu) so dünn aufgedampft wurden (kleiner $0,1 \mu m$), daß ein Hillockwachstum gar nicht auftritt. Offensichtlich bewirken allein schon thermische Spannungen im Schichtsystem Al/ Al_2O_3 /Al eine gewisse Ausfallwahrscheinlichkeit der Isolation.

Reines Kupfer als Elektrodenmaterial ist nicht geeignet, weil es die Al_2O_3 -Isolationsschicht während der Temperaturbehandlung kurzschließt, indem es die internen Korngrenzen der mikrokristallinen Schicht benetzt.

Der Erfindung liegt davon ausgehend die Aufgabe zugrunde, eine Metallschichtanordnung für Dünnschicht-
hybridschaltungen der eingangs genannten Art anzugeben, die zur Bildung von Elektroden und/oder Leiterbahnen gut geeignet und dabei keinem Hillockwachstum unterworfen ist.

Diese Aufgabe wird in Verbindung mit den Merkmalen des Oberbegriffes erfindungsgemäß durch die im Kennzeichen des Anspruches 1 angegebenen Merkmale gelöst.

Die mit der Erfindung erzielbaren Vorteile bestehen insbesondere darin, daß es durch die additive Kupferdotierung nicht zu einer allmählichen Entmischung, also zu Konzentrationsänderungen des Kupfers kommen kann. Die Schichtdicke des Aluminiums kann nach Bedarf, d. h. je nach geforderter Leitfähigkeit (Niederohmigkeit) gewählt werden, muß also nicht zur Vermeidung von Hillockwachstum kleingehalten werden; die Kupferkonzentration im Aluminium wird durch proportionale Anpassung der Kupferschichtdicke konstant gehalten. Die positive Auswirkung der Kupferdotierung auf die Verminderung von Elektromigration (= Massentransport infolge des Durchganges von Gleichstrom hoher Stromdichte durch elektrisch leitendes Material) wird gleichzeitig erreicht.

Die Metalle Aluminium und Kupfer werden ohnehin im Herstellungsprozeß für Hybridschaltkreise in additiver Dünnschichttechnik benötigt, so daß vorteilhaft kein zusätzlicher Aufwand durch die vorgeschlagene Metallschichtanordnung entsteht. Aluminium und Kupfer sind darüber hinaus preiswert und leicht beschaffbar. Für die Kupferdotierung sind auch keine zusätzlichen Masken notwendig.

Vorteilhafte Ausgestaltungen der Erfindung sind in den Unteransprüchen gekennzeichnet.

Die Erfindung wird nachstehend anhand der in den Zeichnungen dargestellten Ausführungsformen erläutert. Es zeigt

Fig. 1 einen Schnitt durch einen Dünnschichtkondensator,

Fig. 2 einen zur Fig. 1 alternativen Schichtaufbau der Metallschichtanordnung,

Fig. 3 einen Schnitt durch eine Dünnschicht-Leiterbahnkreuzung,

Fig. 4 eine Aufsicht auf eine Dünnschicht-Leiterbahnkreuzung.

In Fig. 1 ist ein Schnitt durch einen Dünnschichtkondensator dargestellt. Es ist ein Substrat 1 (Keramik- oder Glassubstrat) zu erkennen, auf dem ganzflächig eine Grundoxidschicht 2 aufgebracht ist, z. B. mittels Sputtern oder Aufdampfen. Als Material für die Grundoxidschicht 2 dient z. B. Al_2O_3 . In additiver Dünnschichttechnik wird anschließend eine Aluminiumschicht 3 als untere Elektrode eines Dünnschichtkondensators durch Masken aufgedampft. Danach erfolgt in einem weiteren

Verfahrensschritt das Aufdampfen einer dünnen Kupferschicht 4 durch die gleiche Maske, die schon für die Aluminiumschicht 3 verwendet wurde. Die Schichtdicke richtet sich dabei nach der gewünschten Cu-Konzentration (z. B. 5%, d. h. $d_{Cu} = 0,05 d_{Al}$), d_{Cu} = Schichtdicke der Kupferschicht, d_{Al} = Schichtdicke der Aluminiumschicht.

Hieran schließt sich ein weiterer Aufdampfprozeß über eine Maske an, bei dem eine Dielektrikumschicht 5 teilweise auf die Metallschichtanordnung 3/4 und teilweise auf die Grundoxidschicht 2 aufgebracht wird. Nachfolgend werden zur Ausbildung einer oberen Elektrode des Dünnschichtkondensators zuerst eine zweite Kupferschicht 6 und anschließend eine zweite Aluminiumschicht 7 über die jeweils gleiche Maske aufgedampft. In einem abschließenden Aufdampfprozeß wird eine Abdeckoxidschicht 8 (Passivieroxidschicht), vorzugsweise aus Al_2O_3 , ganzflächig oder lediglich teilweise über eine Maske aufgebracht.

Nachfolgend wird die Schaltung bei einer Temperatur $T \geq 300^\circ C$ getempert. Beim Tempern diffundieren die Kupferschichten 4 bzw. 6 in die Aluminiumschichten 3 bzw. 7 ein, ohne dabei die Dielektrikumschicht 5 zu zerstören. Durch die Abdeckoxidschicht 8 wird dabei eine Oxidation der Metallschichtanordnung, insbesondere der Kupferschichten, verhindert.

Die Ausbeute von Dünnschichtkondensatoren mit dem beschriebenen Elektrodensystem beträgt auch nach extremer Temperung (z. B. 2 Stunden bei $450^\circ C$) absolut 100%.

In Fig. 2 ist ein zur Fig. 1 alternativer Schichtaufbau der Metallschichtanordnung dargestellt. Bei dieser Variante sind die Kupferschichten 4 bzw. 6 nicht auf oder unter die Aluminiumschichten aufgedampft, sondern vielmehr in die jeweiligen Aluminiumschichten direkt eingebunden, d. h. die Aluminiumschichten 3 bzw. 7 der Anordnung gemäß Fig. 1 sind in jeweils zwei Al-Teilschichten 3a, 3b bzw. 7a, 7b aufgeteilt und zwischen diesen Al-Teilschichten befindet sich jeweils die Kupferschicht 4 bzw. 6. Der Vorteil dieser alternativen Metallschichtanordnung liegt darin, daß die Kupferschichten nicht mit den Isolationsschichten, wie Dielektrikumschicht 5 (oder Crossover-Oxidschicht 15 gemäß Fig. 3) in Berührung kommen und diese deshalb auch nicht intern benetzen können. Die Al-Teilschichten 3a, 3b bzw. 7a, 7b können dabei jeweils von gleicher oder unterschiedlicher Stärke sein.

In Fig. 4 ist ein Schnitt durch eine Dünnschicht-Leiterbahnkreuzung dargestellt. Es ist ein Substrat 11 (Keramik- oder Glassubstrat) zu erkennen, auf dem ganzflächig eine Grundoxidschicht 12 (vorzugsweise aus Al_2O_3) aufgebracht ist, z. B. mittels Sputtern oder Aufdampfen. Anschließend wird eine Aluminiumschicht 13 ($0,5 \mu m$) als untere Leiterbahn einer Dünnschicht-Leiterbahnkreuzung durch Masken aufgedampft. Danach erfolgt in einem weiteren Verfahrensschritt das Aufdampfen einer dünnen Kupferschicht 14 durch die gleiche Maske, die schon für die Aluminiumschicht 13 verwendet wurde.

Hieran schließt sich ein weiterer Aufdampfprozeß über eine Maske an, bei dem eine Crossover-Oxidschicht 15, vorzugsweise Al_2O_3 oder Aufdampfglas, als Isolationsschicht im Leiterbahn-Kreuzungsbereich auf die Metallschichtanordnung 13/14 aufgebracht wird. Nachfolgend werden zur Ausbildung einer oberen Leiterbahn zuerst eine zweite Kupferschicht 16 und anschließend eine zweite Aluminiumschicht 17 über die jeweils gleiche Maske im mittleren Bereich der Crossover-

ver-Oxidschicht 15 aufgedampft. In einem abschließenden Aufdampfprozeß wird eine Abdeckoxidschicht 18 (Passivieroxidschicht), vorzugsweise aus Al_2O_3 , ganzflächig oder lediglich teilweise über eine Maske aufgebracht.

Nachfolgend wird die Schaltung bei einer Temperatur von $T 300^\circ C$ getempert. Durch die Abdeckoxidschicht 18 wird dabei eine Oxidation der Metallschichtanordnung, insbesondere der Kupferschichten, verhindert. Beim Tempern diffundieren die Kupferschichten 14 bzw. 16 in die Aluminiumschichten 13 bzw. 17, ohne dabei die Crossover-Oxidschicht 15 zu zerstören.

Alternativ zur Anordnung gemäß Fig. 3 kann auch eine Dünnschicht-Leiterbahnkreuzung aus Al-Teilschichten 13a, 13b bzw. 17a, 17b anstelle der Al-Schichten 13 bzw. 17 aufgebaut sein, wobei jeweils zwischen der Al-Teilschichten die Kupferschichten 14 bzw. 16 angeordnet sind, wie in Fig. 2 angedeutet.

Der spezifische Widerstand der Cu-dotierten Al-Leiterbahnen ist bei allen Varianten lediglich um wenige Prozent höher als der von reinen Al-Leiterbahnen. Dieser Verlust ist leicht durch geringfügige Schichtdickenerhöhung der Aluminiumschichten 13 und 17 auszugleichen, wobei die Schichtdicken der Kupferschichten proportional hierzu anzupassen sind, um eine konstante Kupferkonzentration zu erzielen.

In Fig. 4 ist eine Aufsicht auf eine Dünnschicht-Leiterbahnkreuzung dargestellt. Es sind die durch die Metallschichtanordnung 13/14 gebildete untere Leiterbahn, die Crossover-Oxidschicht 15 und die durch die Metallschichtanordnung 16/17 gebildete obere Leiterbahn zu erkennen.

Die beschriebenen Aufdampfprozesse erfolgen vorzugsweise im Vakuum. Das Verhältnis der Schichtdicken $d_{Al} : d_{Cu}$ beträgt etwa 20, ist jedoch prinzipiell frei wählbar und jederzeit optimierbar und bestimmt das Verhältnis Al : Cu in der getemperten Elektrode oder Leiterbahn. Die Kupferschicht ist dabei entweder zwischen der Aluminiumschicht und der Isolationsschicht (= Dielektrikumschicht 5, Crossover-Oxidschicht 15) aufzubringen oder in die jeweilige Aluminiumschicht einzubinden (Al/Cu/Al); der Endzustand, d. h. die Cu-Verteilung im Aluminium ist nach Temperung in beiden Fällen gleich. Vorteilhaft kann es durch die additive Kupferdotierung von Aluminiumschichten nicht zu einer allmählichen Entmischung, also zu Konzentrationsänderungen des Kupfers kommen.

- Leerseite -

37 20 298

H 01 L 27/01

19. Juni 1987

29. Dezember 1988

Fig.1

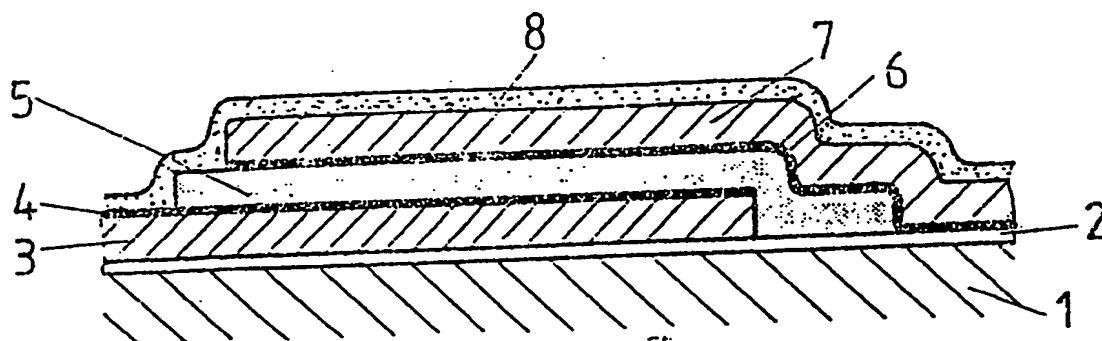


Fig. 2

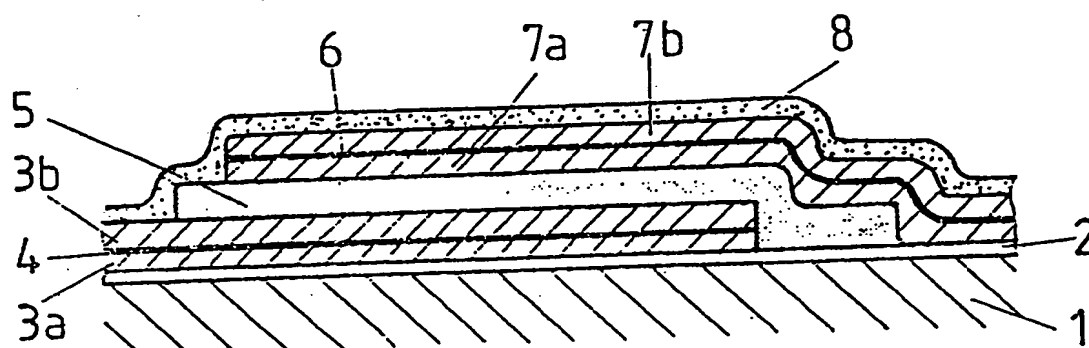


Fig.3

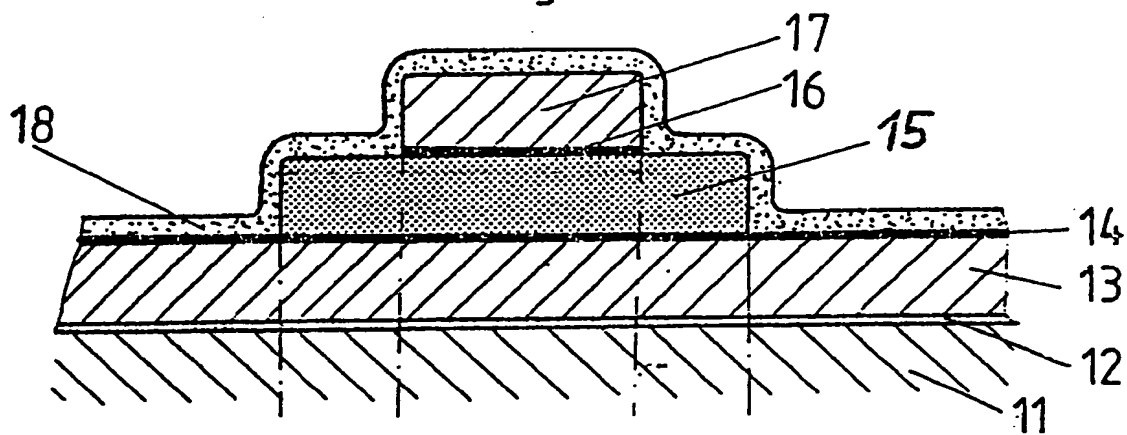


Fig.4

